

NIMS

2010年 3月号

NOW

日本発のメソポーラス物質が
材料に革命を起こす



視斜角入射小角X線散乱測定装置

日本発のメソポーラス物質が材料に革命を起こす

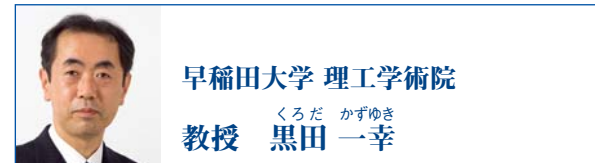
日本発 メソポーラス物質の発見と展開

メソポーラス物質(メソ多孔体)とは、細孔径がマイクロ孔(2nm以下)とマクロ孔(50nm以上)の中間の細孔径を有する物質です。均一な細孔と規則配列などの特徴を有し、これまで多くのメソポーラス物質が合成されてきました。これらは、典型的なマイクロ多孔質結晶であるゼオライトの細孔径の限界を超え、ナノサイズの孔を有するため、ナノテクノロジーのキーマテリアルでもあります。

1980年代、私たちは層間化合物研究の過程で、層状ケイ酸塩カネマイトと陽イオン性界面活性剤(アルキルトリメチルアンモニウムイオン)との反応生成物の焼成後に、層間隔が保持されていることに気づきました。固体NMR*による測定によりケイ酸塩骨格の三次元化が確認できたことから、新多孔体発見につながりました。これは層状ケイ酸塩有機誘導体の研究が、新しいシリカ多孔体発見につながったセレンディピティの一例といえます。

1988年、私たちはこの成果を日本化学会春季年会で口頭発表し、1990年にBCSJ(Bulletin of the Chemical Society of Japan)誌に発表しました。この論文の被引用回数の年度推移から、この合成が日本発として徐々に認知されたことがわかります。1992年、モービル社がメソポーラスシリカ(MCM41など)をNatureとJACS(Journal of the American Chemical Society)誌に発表し、これが大きな反響を呼んで、その後猛烈な勢いでメソ多孔体研究が行われるようになりました。

発見から20年で研究は大きく進展し、“mesoporous”をキーワードにした論文数は増加の一途をたどり、合成や構造解析、触媒担体、吸着剤、光学材料、生医学応用など多岐にわたり研究されています。また、メソ構造の精密制御や配向制御、薄膜、モノリス、ナノ粒子、ファイバー等の形態制御も進んでいます。細孔壁組成も多様化し、ハイブリッド系や有機系などへも展開され、金属系も可能となりました。メソ孔内の有機修飾による細孔環境の設計も進み、メソポーラス物質研究は



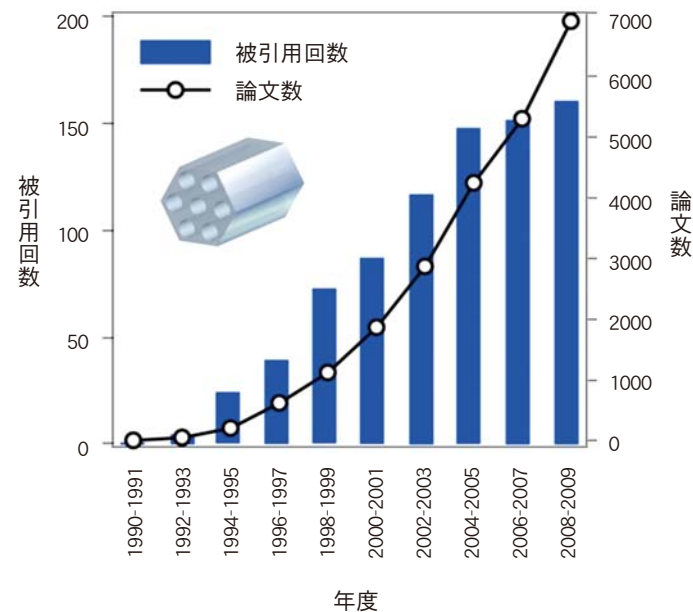
早稲田大学 理工学術院
教授 黒田 一幸
くろだ かずゆき

今後量的な拡大に加え、より応用研究にシフトすると考えられます。

メソポーラスシリカの量産化も可能となり、いよいよ実用化の道が開けてきました。しかし、メソ孔の配向やメソスケール規則配列の特徴は未だ活かしきれいていません。さらなるブレイクスルーに向けて、産業界を大きく巻き込んだ応用研究の活発化が必要です。

NIMSから金属系や窒化ホウ素系などの新メソポーラス物質の創出やセンシング、触媒、電池への応用など、インパクトの高い成果が次々と報告されているのはたいへん喜ばしいことです。若い研究者には、独創性を発揮し、トップランナーとしてこの分野を引っ張っていくことを望みます。そして、日本発ナノ材料の新たなパラダイムが日本から発信されることを願っています。

* 固体核磁気共鳴装置



メソポーラス物質とは そこからイノベーションが生まれるわけ

メソポーラス物質とは何か。簡単な解説を加えましょう。

ナノテクノロジーの進展により小さな孔の開いた物質・材料が注目を集めています。それらは時にナノポーラス物質と呼ばれますが、これはナノサイズの孔がある物質を総称して指す、ややあいまいな定義です。IUPAC(国際純正および応用化学連合)の正式な定義によると、孔径が2nm以下の物質をマイクロポーラス物質、50nm以上の物質をマクロポーラス物質、その間にある孔径2~50nmの物質をメソポーラス物質としています。メソポーラス物質がカバーする大きさの範囲は、小さな分子が運動・拡散できるけれども、それらが集まった集合体やポリマーなどは配向や運動性が制限される大きさで、分子科学・超分子科学・高分子科学において非常に面白い現象が起こり得る領域です。また、酵素や核酸などの生体物質の大きさにも相当し、生体物質を包み込める空間にもなり得ます。このようにメソポーラス物質は、今、科学者が知りたい物性や特性を発現できる場を与える、魅力的な物質なのです。

さて、メソポーラス物質はどのようにして作るのでしょうか? その簡単な一例を図に示しました。

界面活性剤やある種のポリマーを溶媒中に分散させると、ミセルという超分子集合体が形づくられます。条件をうまく設定すると、それらが精密に集まった構造ができます。これを鋳型、テンプレートといいます。この柔らかい鋳型のまわりをシリカのような硬い物質で固めた後、鋳型の部分だけを取り除くことによって多孔性の物質を得ることができます。シリカで作ればメソポーラスシリカができます。この時にできる孔の構造は鋳型の精密な構造を反映し、孔径が極めて正確で、並び方が整然と揃っています。このように密で正確な孔構造の表面積は、実に莫大な値になります。

* 世界トップレベル研究拠点(WPI)プログラム
国際ナノアーキテクトニクス研究拠点

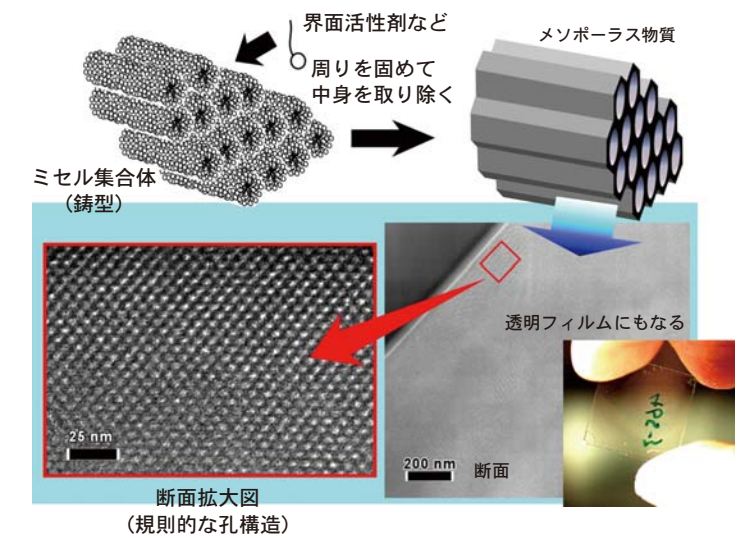


MANA*/超分子グループ
MANA 主任研究者 有賀 克彦
ありが かつひこ

メソポーラス物質は、粉や透明フィルムのように、いろいろな素材、形態でも作成でき、さらに製造法が非常に簡単で安価なので、応用・実用のポテンシャルが高い材料です。これまではその表面積の大きさを生かして触媒担体や吸着材としての応用が主に考えられてきましたが、それにとどまらず、さらに高度な応用で、材料に革命を起こす可能性を秘めています。

光電子材料、燃料電池材料、環境材料、センシング材料、メディカル材料などへの実用化が見込まれており、そのためには、金属や炭素系物質などの新素材メソポーラス物質を開発すること、センサーやドラッグデリバリーなどの応用を目指すこと、階層構造のような新しい構造化を確立することが必要です。

後述の記事をご覧ください。今、NIMSの研究者によってなされているこれら物質・材料のイノベーションをご紹介します。



メソポーラスシリカの作り方:概念図とフィルムへの成型例

メソポーラス金属の合成と薄膜化

“めっき”で世界最先端の金属ナノ材料を作り出す



MANA独立研究者 山内 悠輔
(やまうち ゆうすけ)

私たちは、従来のメソポーラス物質合成のコンセプトを拡張し、分子集合体の周りに電気化学プロセスで金属を析出させ、内部の鋳型を除去して金属骨格のメソポーラス物質を合成しています^{1,2)}。

メソポーラス金属は、無数のメソ細孔が空いているので、すべての露出した表面が電気化学反応場として機能し、高活性で拡散性の良い電極となります。メソポーラスプラチナやプラチナ系合金は、次世代のDMFC(メタノール直接型燃料電池)の電極材料として最適です。電極の多孔質化は、反応面積の増大ばかりでなく、電極中における物質の拡散性が向上し、より高い反応効率を達成できます。また、メソポーラススズ(Sn)はリチウムイオン二次電池の次世代負極電極として画期的材料です。現在、リチウムイオン二次電池の負極として実用化されている炭素の約2.7倍もの理論エネルギー密度を有するSnは、電池の高性能化を実現する新規負極材料として注目を浴びています。しかし、充放電時のリチウムとの合金化・脱合金化の際に大きく体積が変化して電極自体が崩壊・欠落するため、電極寿命が非常に短いことが大きな問題になっています。メソポーラス構造という多孔質構造が付与されたSn電極は、充放電時の体積変化を大幅に緩和するので電極の高寿命化につながり、この問題を解決します。

最近、私たちが研究の主なターゲットにしているのは、メソポーラス金属の薄膜化です。粉末ではなく、メソポーラス金属を薄膜として基板に固定化することで、それ自体を電極やセンシングの基盤材料として使用することが可能になります。私たちが独自に開発したEDIT(液晶テンプレート法)を適用すれば、

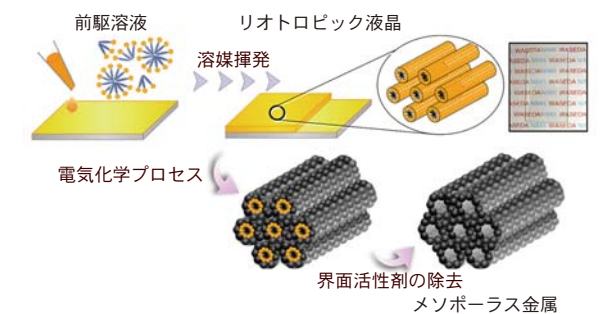


図1 開発した溶媒揮発法によるメソポーラス金属の合成プロセス(通称、EDIT法)

様々な組成とメソ構造を基板上に自由に作り出すことができ(図1)、また、比較的大きな分子集合体を鋳型に用いることで、数nmから100nm程度まで精密に細孔径を制御できます^{3,4)}。このようにメソ細孔の大きさをコントロールして、細孔内へ入れる分子をサイズによりふるいにかける、選択的に特定の分子のみを電極中で反応させてセンシングすることも可能になります。さらには、微細加工した基板を用いることにより、階層構造を有するファイバー電極やマクロ-メソ階層構造電極の合成など、マクロスケールからメソスケールまで階層的に細孔空間をデザインすることができるようになりました^{5,6)}(図2)。

これまで、ナノ粒子、ナノファイバー、ナノチューブなどの様々な金属ナノ材料の合成が盛んに研究されてきており、白金黒などの多孔質材料が工業的に利用されています。これらと比較して、私たちのメソポーラス金属は、細孔の大きさや細孔配列が完全に制御されているという従来の金属材料にはない特徴を持っており、今後その規則的なメソ空間に起因する機能発現も期待されます。

- 1) Yamauchi et al., *Angew Chem Int Ed*, **2009**, 48, 7792-7797.
- 2) Yamauchi et al., *J Am Chem Soc*, **2009**, 131, 9152-9153.
- 3) Yamauchi et al., *Angew Chem Int Ed*, **2008**, 47, 5371-5373.
- 4) Yamauchi et al., *J Am Chem Soc*, **2010**, 132, 208-214.
- 5) Yamauchi et al., *J Am Chem Soc*, **2008**, 130, 5426-5427.
- 6) Yamauchi et al., *J Am Chem Soc*, **2008**, 130, 10165-10170.

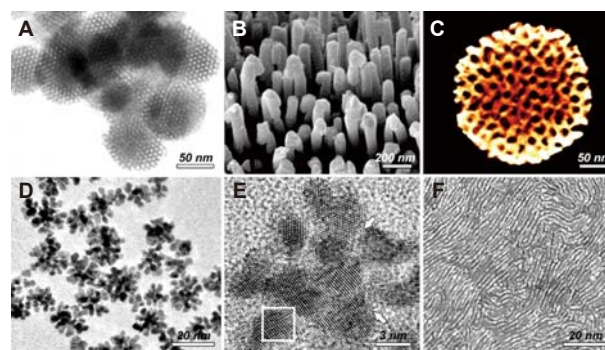
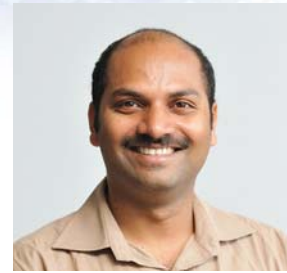


図2 これまで合成した多様な形態を有するメソポーラス金属。
A. 二次元ヘキサゴナル構造有するメソポーラス白金の電子顕微鏡像。B. メソポーラス白金ルテニウム合金のファイバー。C. 10nmを超える巨大細孔有するメソポーラス金属の三次元トモグラフィ。D. 溶液プロセスを駆使し合成したメソポーラス金属ナノ粒子の電子顕微鏡像。E. メソポーラス金属ナノ粒子の高分解電子顕微鏡像。F. 二次元ヘキサゴナル構造有するメソポーラス白金薄膜の表面。

メソポーラス炭素材料

環境・エネルギー分野に活用、広がる可能性



MANA独立研究者 Ajayan Vinu
(アジャヤン・ヒヌ)

M41Sと呼ばれるメソポーラスシリカ分子ふるいが発見されて以来、この研究分野はたいへん注目されるようになり、規則性メソポーラス材料の合成、特性解析、応用などの科学的な取り組みがされています。

メソポーラスシリカ材料は一般的に、陽イオン界面活性剤、陰イオン界面活性剤、非イオン界面活性剤を媒介とし、適合するシリカ前駆体の自己組織化を利用したソフトテンプレート法によって合成されます。これらは興味深い組織特性を持つものの、熱的安定性、力学的安定性が極めて低いために商業的な使用が制限され、その両面において高い安定性を持つ、シリカ以外のメソポーラス材料を合成することが課題です。そこで私たちは、熱的にも力学的にも安定性が高い材料の一つである炭素に着目し、無機メソポーラス金属酸化物を鋳型として用いるハードテンプレート法によって、多様な構造、形態、細孔直径を持つメソポーラス炭素材料の合成を研究しています。既にこの方法によって、カーボンナノケージ、カーボンナノクープ、グルココarbonなどの合成に成功しました。中でも、カーボンナノケージ(CNC)は非常に大きい比表面積(1600m²/g以上)と比孔容積(2.2cm³/g)を持つ興味深い材料で、その合成には、私たちが開発した「制御細孔充填法」を利用したナノテンプレート法を用いています¹⁾(図1)。

これらの材料は、タンパク質、アミノ酸、DNA、有機色素に対して非常に高い吸着能力を示します²⁾。先頃、私たちはCNC設計における細孔構造の重要性を実証しました。新規ナノカーボンであるCNCを用いた簡単なワンポット法によって、茶成分(カテキンとタンニン酸)に対する極めて高い吸着選択性が得られます^{2,3)}。このケースでは、非特異的疎水性相互作用が重要な役割を果たしていますが、かご内部の機能化により、さらに明確な分子認識が可能です。CNCの構造サ

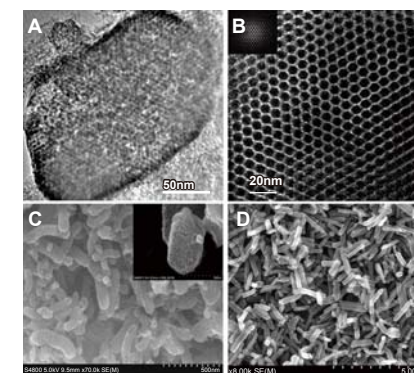


図1 A, Bはそれぞれナノポーラス窒化炭素粒子とカーボンナノクープの高分解能TEM画像、C, Dはそれぞれロッド状のナノポーラス窒化炭素ナノ粒子とナノポーラス炭素の高分解能TEM画像

イズは一部のタンパク質やペプチドと同程度であり、CNC吸着剤の使用によりアミロイドなど疎水性の有毒なバイオマテリアルを効率よく除去できることから、既存の有毒・有害物質吸着材料に代わって使用され、生物医学分野に大きな影響を与える可能性があります。

CNCはまた、高分子電解質膜(PEM)燃料電池の支持体としても使用されています。プラチナ担持メソポーラス炭素は、プラチナ含有量が市販のカーボンブラック支持体の5分の1にもかかわらず、陽極性能がはるかに優れていることが分かりました。この新規メソポーラス炭素を使用すれば、燃料電池システム全体のコストを低減できると考えられます。

メソポーラス炭素の機能は、その壁構造の化学組成を窒素のような別の元素を組み込んで変えることによって調整できます。先頃、私たちはメソポーラス窒化炭素(MCN)を合成しました。MCNは規則性の高い六角形配列の二次元細孔系を有し、非ポーラス窒化炭素材料に比べはるかに大きい比表面積と比孔容積を持ち、また、重要な有機合成中間物であるカプロフェノンの合成に関する塩化ヘキサノイルを用いたベンゼンのフリーデル・クラフツアシル化反応においてははるかに高い触媒活性を示しました⁴⁻⁶⁾。さらにこの材料は、近年の地球温暖化の主な原因であるCO₂分子の捕捉に使用できる塩基性サイトを含有しており、将来、「CO₂ エリミネータ(除去装置)」としての使用も考えられます(図2)。ごく最近、私たちはサイズが150 nmより小さく窒素含有量が高い新規のナノポーラス窒化炭素ナノ粒子(C2N)を合成しました(図1)。これらの材料はともに、さまざまなアルコールを用いたβケトエステルエステル交換反応⁷⁾において優れた塩基性触媒作用を示しました。

- 1) Vinu et al. *J. Mater. Chem.* 2005, 15, 5122.
- 2) K. Ariga, A. Vinu, et al. *J. Am. Chem. Soc.* 2007, 129, 11022.
- 3) K. Ariga, A. Vinu, et al. *Angew. Chemie. Intl. Ed.* 2008, 47, 7254.
- 4) Vinu et al. *Adv. Mater.* 2005, 17, 1648.
- 5) Vinu et al. *Chem. Mater.* 2007, 19, 4367.
- 6) A. Vinu, *Adv. Func. Mater.* 2008, 18, 816.
- 7) Vinu et al. *Angew. Chemie Intl. Ed.* 2009, 48, 7884.

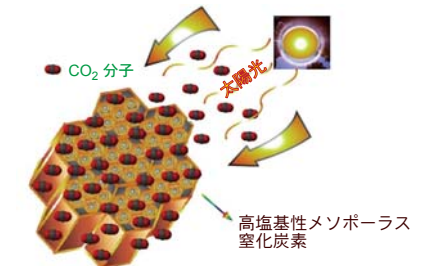


図2 高塩基性メソポーラス窒化炭素に酸性のCO₂分子が捕捉される様子を示す略図

メソポーラスセンサー

1pptの精度で水質中の毒性金属を検知する



環境・エネルギー材料萌芽ラボ/融合領域研究グループ
Sherif A. El-Safty, Ahmed Shahat, Wojciech Warkocki
(シェリフ・A・エル サフィティ) (アハメッド・シャハット) (ホイチェック・バルコツキ)

自然環境に放出される産業廃水に含まれる化学汚染物質や生物活性汚染物質の増加により、飲料水に対する基準は数度にわたって改正されており、世界保健機関(WHO)の基準では、汚染物質を効率的に除去する吸着剤の有効性を10億分の1(ppb)の濃度と定めています。

私たちが開発した光学メソポーラスセンサーは、屋内および屋外で、1兆分の1(ppt)までの毒性金属を感度調整が可能な形で、高い分離性と精度を持ち、かつ素早く検知するシステムをつくり出す性能があることが実証されています。ナノスケール規模の材料において本来の移動性と適応性を維持しながら、高密度な表面機能性のパターンと指示薬色素の吸着をベースにナノセンサーアレイを製作したことで、30秒以内という高速で標的金属が色素を通過する検知システムの開発が実現しました(図1)。均一な大きさで2~30nmの間隔に揃った細孔構造を持ち、表面積の大きい(1000m²/g)このメソポーラス材料は、まさしく新しいタイプのセンサー材料となりうる将来性を示しています。

これは、汎用的な“ローテク”の紫外・可視計測装置を用いて超微量のHg^{II}イオン(pptレベル)を視覚的に検出するための光学センサーとして(図2)、「アゾ発色団」色素プローブをコンパクトなメソポーラス薄膜ディスクに適応させるという試みについて実証したものです。この試みの結果、広いHg^{II}の濃度範囲において、人間の目と同じ周波数で際立った色

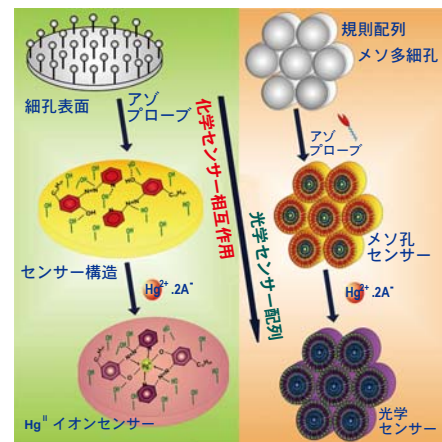


図1 「アゾ発色団」の化学的構造を持ち、細孔表面にシラノール基が隣接する毒性Hg^{II}イオン検出用光学メソポーラスセンサーの簡易略図。この化学的構造によって、ナノスケールレベルの材料表面にアゾプローブを適正に配列させることができる。注-アゾプローブの化学式は4-ドデシル-6-(2-ピリジルアン)フェノール

の遷移が認められました。さらに、メソポーラスセンサーにはイオンをあらかじめ濃縮する機能があり、最大で20サイクルの再利用性を示しました(図3)。光学センサーにおいて多種イオンの競合種に対するイオン選択的作業性を確保したことで、分析施設における現在の検知システムに代わるコスト効率のよいツールの設計が可能になったのです。

このような技術の開発は、世界中の環境浄化に新たな機会を開きます。私たちは、この取り組みによって、簡易で安価で応答の速いポータブルメソポーラスセンサーを使用した魅力ある公害監視装置を実用化したいと考えています。

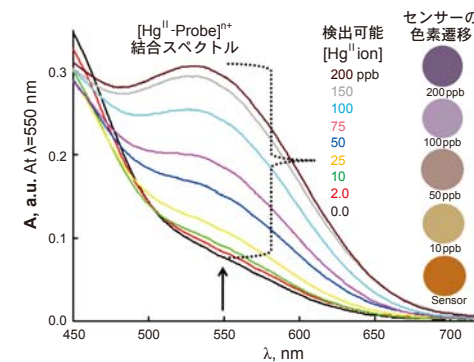


図2 メソポーラスHg^{II}イオンセンサー膜において確認された色素遷移マップと反射スペクトル。pH7でHg^{II}イオンの濃度が2ppbから200ppbに上昇している。

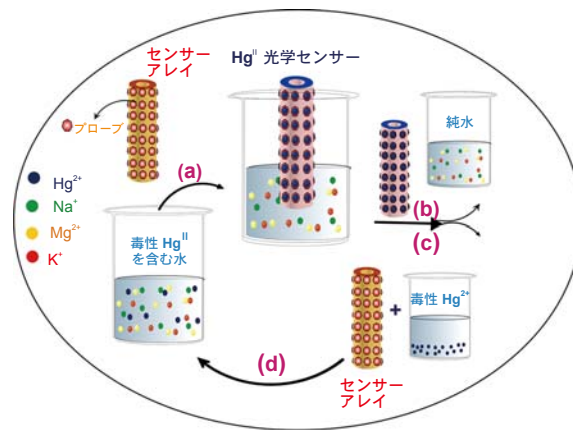


図3 (a)イオン選択的光学システム、(b)毒性イオンの除去、(c)毒性イオンの抽出、(d)C₂O₄²⁻陰イオンを剥離剤として使用したセンサー再利用の全分析段階に光学センサーアレイを使用した、水質中の毒性Hg^{II}イオン処理システムの簡易略図。

階層型メソポーラス新素材

自動的に「放出・停止」を繰り返すドラッグデリバリーシステム



MANA/超分子グループ
JSPS 研究員
吉 慶敏
(ジチンミン)



MANA/超分子グループ
MANA 主任研究者
有賀 克彦
(ありがかつひこ)

生物の優れた機能は人工機能のお手本であり、生物のような働きを持つ物質を開発しようと日夜研究がなされています。では、生物と人工の機械の大きな違いはどこにあるのでしょうか。剛さや柔らかさでしょうか。そうではありません。機能の運動性に大きな違いがあるのです。人工の機械はスイッチを入れるとある特定の働きしか起こりませんが、天然の仕組みは一つの刺激があると周りの状況に応じて変幻自在に働きが変わります。これは、機能連携やフィードバック機構が絶妙に調和していることによるもので、生物機能が「賢い」といわれるゆえんです。生体におけるこのような高度な機能の秘訣は、機能構造が複雑に絡み合う「階層的」な構造設計にあります。

そこで私たちは、図1のような階層構造を作りました。この構造に含まれているカプセルは、大きな内空間が、小さなメソ孔の空いたシリカ壁で覆われています。そして、この階層的な孔構造を持つカプセルが、ナノ粒子やポリマーとともに積層されてフィルムを作るというさらなる階層構造に組み上げられています。これにより、フィルムに埋め込まれているカプセルの中に液体の薬剤を取り込ませ、後からそれを放出する「ドラッグデリバリー」機能を持たせることができます。

液体の薬物をしみこませ、空気中にさらして薬物が放出される状態を見たところ、図2のように自動的にON/OFFが繰り返されるという現象が見られました。そのメカニズムはまだ完全

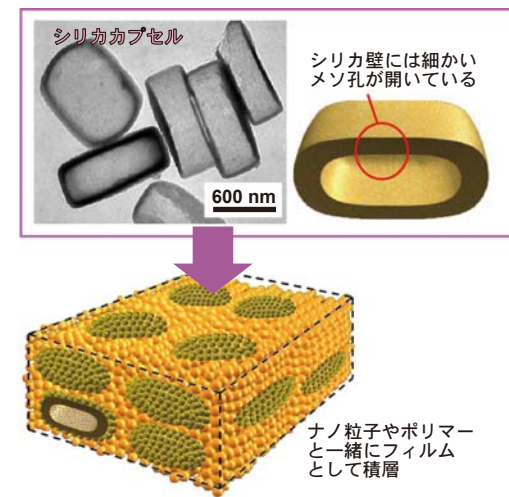


図1 メソ孔を持つシリカカプセルを含む階層化フィルム

には解明されていませんが、カプセルの壁の穴から薬物が蒸発する過程と、そこへ薬物がカプセル内部から浸透する(キャピラリー浸透)過程とが交互に起こる階層的な孔構造を反映した機能ではないかと考えられます。この材料を使えば、周囲から刺激を加えなくても薬物の放出が定期的な起こり、自動的・定期的な薬物投与に応用できると期待されます。例えば、朝設定すれば一日三回自動的に薬が投与されるというような仕組みです。最近では、カプセルの表面を加工することによりDNAを固定化したり、カプセルの素材をシリカからカーボンに変えることによって、有害な芳香性化合物を吸着することも明らかになっています。

この材料開発の秘訣は構造の階層化にあります。単純に孔を開けるのではなく、それがどのように組織化・階層化されるかを追求しなければ、生物に見られるような高い機能は得られないでしょう。「材料は作るだけでなく、それを組織化して機能を持たせることこそ重要である」というべき時代になったのです。

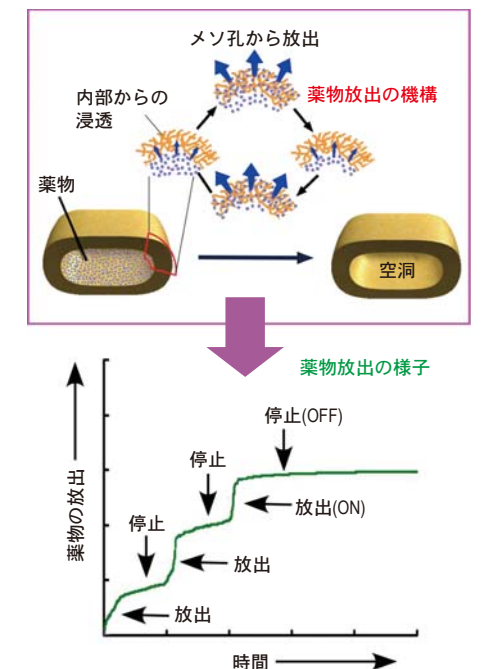


図2 放出と停止を自動的に繰り返す薬物投与への応用

超微粒立方晶窒化ホウ素 切削工具の開発

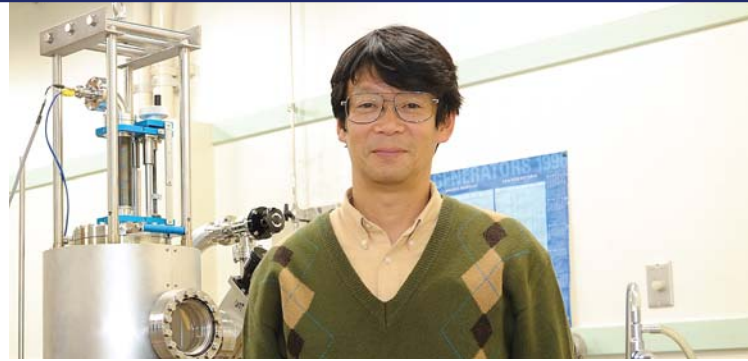
—鉄鋼材料の鏡面仕上げ実現にむけて—

ナノスケール物質萌芽ラボ 超高压グループ

コンタクトレンズや光学部品等を成形するための金型の加工面は、高い寸法精度とともに鏡面仕上げが求められるため、通常、砥石による研磨で最終仕上げを行います。この工程を精密切削に置き換えることができれば、砥粒や潤滑剤の廃棄による環境負荷の低減、機械加工工程の省エネルギー化に大きく貢献することが期待できます。また、優れた切削性能を持つ材料の開発は、既存のタングステン工具の代替材料を開拓する点においても意義があります。

立方晶窒化ホウ素(cBN)はダイヤモンドに次ぐ硬度を持ち、ダイヤモンドの化学的反応のために適用が難しい鉄系金属材料向けの工具材料として応用されています。特に六方晶窒化ホウ素(hBN)を高温・高圧下で相転換することで得られる、焼結助剤(バインダー)を一切含まない高純度のバインダレスcBN焼結体は、既存の助剤を含む焼結体工具よりも優れた特性を持つことが知られています。精密切削工具では、硬さ、耐摩耗性に加え、加工時に鋭い刃先形状を維持することが重要になり、例えば、面精度が100nm程度の鏡面加工面を得るためには、構成粒子径が100nm以下の焼結体が必要になります。

私たちは、ベルト型高圧装置により10GPa(10万気圧)、1700℃程度の高圧・高温下で粒径が100nm程度以下のcBN焼結体を作製しました(図a)。これまでのバインダレスcBN焼結体の粒径はおよそ500nm程度であり、これは8GPa、2200℃程度の合成条件で得られています。今回、焼結体の粒径が微細化できたのは、10GPa領域の安定な高圧合成技術の開発に成功し¹⁾、hBN→cBNの相転換に必要な温度を2200℃から1700℃まで低減することで、cBNの粒成長を抑制できたことによります。



グループリーダー
谷口 尚
(たにぐち たかし)

この超微粒粒子バインダレスcBN焼結体工具を、理化学研究所との共同で精密切削可能な高精度加工装置に組み込み、焼入れされたステンレス鋼の鏡面加工を実施したところ、切削油を用いず、ドライな条件下で、鏡面の加工面が得られることが確認できました(図c)。この切削工程では、表面粗さは最大高さ粗さ^{*}で100nm以下となり、最良面では50nm以下という高精度な加工を実現しました²⁾。今後は、粒径のさらなる微細化とともに、本研究で実現できたcBN焼結体の特性を、工業的に汎用化が可能な6GPaの低圧力領域において再現することが重要な研究課題です。

参考文献:

- 1) T. Taniguchi, M. Akaishi, Y. Kanke, S. Yamaoka, Rev. Sci. Instrum., 75, 1959 (2004).
- 2) K. Fujisaki, T. Taniguchi, et al., J. Mater. Processing Technol., 209, 5646 (2009).

^{*}加工面等材料表面の仕上げ面精度を表現する為の指標で表面の凹凸を測定し、基準長さでの最低谷底から最大山頂までの高さを示す(JIS規格)。

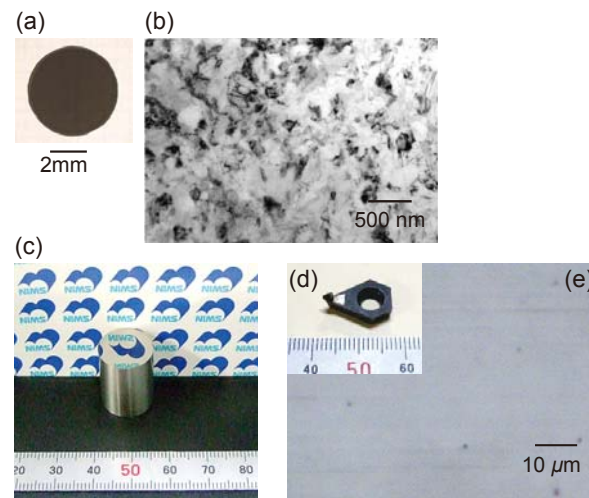


図 (a) cBN焼結体 (b) cBN焼結体の透過電子顕微鏡写真 (c) 切削後の試験片(SUS420J2) 概観 (d) cBN切削工具 (e) 切削表面の光学顕微鏡写真

超硬コーティングの 新しい可能性

ハイブリッド材料センター コーティンググループ



渡邊 誠
(わたなべ まこと)

小松 誠幸
(こまつ まさゆき)

センター長
黒田 聖治
(くろだ せいじ)

溶射コーティング技術の課題

炭化タングステン(WC)のような非常に硬い物質と、コバルトのような柔らかい金属を粉末状にして混合し焼き固めた材料は超硬合金と呼ばれ、硬さと壊れにくさを併せ持っています。そのため、工具や機械部品に多用されますが、焼結できる部品の大きさや形状に限りがあるのが難点です。原粉末を溶かして吹き付ける溶射技術を用いれば、超硬合金を大型部材や複雑形状の表面などにもコーティングすることができます。これまで全体を超硬合金で作っていたものを、“どこにでもある材料+超硬コーティング”に置き換えることによって、タングステン、コバルトのような希少元素の有効利用にも大きな効果が期待できます。

形成された皮膜は硬度が高く、耐摩耗用途には広く利用されていますが、施工中に原材料が酸化したり、コバルトとWCの溶解反応により脆い化合物が生じて皮膜が弱くなるなどの問題があります。また、皮膜表面を鏡のように研磨して使う場合も多く、研磨工程には多くの時間とコストがかかるので、製造コストを低減するためには、溶射コーティングした状態で表面が滑らかであるようにすることが求められます。

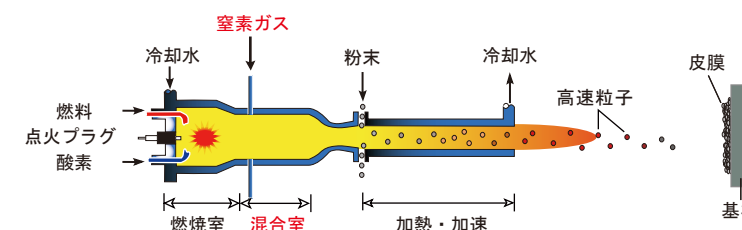


図1 ウォームスプレー法の原理図。燃料と酸素を混合して発生した高圧・高温の燃焼ガスに室温の窒素ガスを適量混合し、WC-Co粉末に含まれる金属が溶融しない温度で加熱・加速し、高速度で基材に投射して高密度で劣化の少ないコーティングを作製する。

企業との共同研究の成果

私たちは、原料粉末が溶ける温度以下で加熱しながら500m/s以上の高速度に加速するウォームスプレーというプロセスを開発してきました(図1)。これは熱に加えて加速による運動エネルギーも上手く利用しながら成膜する方法です。燃料と酸素を混合して燃焼し、得られた高圧の燃焼ガスに室温の不活性ガスを混合することによってガス温度を調整し原料の酸化を防ぎます。今回、共同研究を行っているフジインコーポレーテッド社がこのプロセスに適したナノ~サブミクロンサイズのWC粒子で構成される顆粒状の小さなWC-Co粉末(顆粒径:5~20μm)を開発しました。この粉末をウォームスプレー法によって皮膜にしたところ、極めて緻密で滑らかな表面を持つコーティングが得られました。また、得られた皮膜中には微細なWCの粒子が原形を保ったまま保持されており、ピッカース硬度で1500以上、表面粗さは中心線平均粗さRaで1.8 μm以下を達成し、従来の溶射皮膜と比べて大きく向上しました(図2)。開発した超硬コーティングは、産業用製造機械、建設土木機械、航空機などへの適用が考えられます。

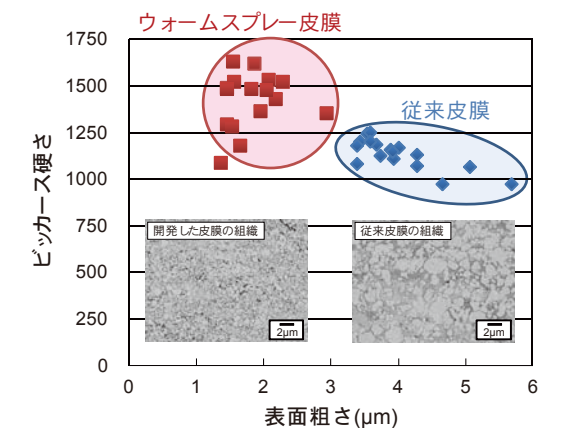


図2 開発したウォームスプレー皮膜と従来法による皮膜の硬さ、表面粗さと断面組織の比較。開発皮膜は組織が微細で硬度が高く、表面粗さが小さい。

工業製品の急増に伴う資源需要の増大、技術革新を支える高機能物質の必要性など、資源需要はかつてない高まりを見せ、特にレアメタル、レアアースといった元素は資源リスクの増加が懸念されています。こうした中で注目されているのが“都市鉱山”です。元素戦略センターでは、資源リサイクルの可能性について定量的な評価を行い、都市鉱山を中心にした資源マネジメントのあり方について考察や提言を行っています。このテーマにける原田センター長に話を伺いました。



元素戦略センター長
環境・エネルギー材料萌芽ラボ長
材料信頼性萌芽ラボ長

原田 幸明 (HALADA Kohmei)

楽しくなければ研究ではない

長崎、香岐のご出身ですが、子どもの頃はどんな少年でしたか。

“ウチノウラ”でロケットを打ち上げてました。「内之浦」ではなくて「家の裏」なんです。田舎だから何も無い。小学校2年の時、親が「子供の科学」を買ってきて、すっかりハマってしまったんです。ロケットを作って打ち上げたり、ホバークラフトを組み立てたりするのに夢中でした。当時は「子供の科学」が大の愛読書でした。中学に進んだ頃にはブルーバックスが出て読みふけりましたね。当時、ブルーバックスに影響を受けた人はとても多いと思いますよ。

それでは、理系に進むのは必然でしたね。

東大の理Iへ進んだのですが、当時は、理Iからは理学部物理学科に進むのが王道だったんです。でも、学問は物理だけじゃないよ、と考えて金属工学に入りました。新しいもの好きなので、パウダープロセッシングなどの研究をやっていましたが、生物の構造を参考にするバイオメティックスなどにも興味をもっていました。それが山本良一先生のエコマテリアルの考え方と結びつきかけになったんですね。文部科学省でレアメタルの機能開発およびその将来像に関する委員会ができた時、山本先生が委員長で私も委員になったんです。ところが山本先生が、もっと広い目で資源を見つめなければ、と言い出して、LCAという考え方が入ってきた。そこでエコマテリアルはどう評価するのか考える、と言われて“都市鉱山”と結びつくことになったんです。

資源のマネジメントについてはいかがですか。

特別なことではないんです。エネルギーのマネジメントはきちんとやっているでしょう。サプライチェーンの中で資源のあり方や数量などはきちんと管理されて然

るべきなのですが、日本の企業は資源のほとんどを海外に頼っているのに、それを軽視している傾向があります。エネルギーと同じように、資源はもっと地政学その他を統合したマネジメントが行われなければならないし、それは世界中から資源の供給を受けている日本が発信すべきなんです。

NIMSの研究環境をどう思われますか。

もちろん私たちにとっては素晴らしい環境です。独立行政法人になってから、NIMSの役割が大きくなったと思います。つまり、社会的インパクトが大きくなったのです。大学の研究室だったら、ひとつの技術の開発は技術そのものへの評価で終わってしまいますが、NIMSでは総合した研究ができるんです。こうした環境はもっともっと強めたいと思います。戦略的に動ける集団をつくる、研究のコアメンバーが集まってくる、国や社会へ向けてきちんと発信・発言する、— このようにして科学技術戦略の実践と提言の場になっていくことが望ましいと思うんです。

若い人たちに伝えたいことがありますか。

“楽しめ”ということでしょうね。若い研究者を見てみると、皆必死で研究していて余裕がないように感じるんですよ。私は「楽しくなければ研究ではない」と思っています。研究を進めるといのは、文化をクリエイティブしていくことですよ。音楽家や画家が曲や絵を作り上げていくように、研究も創造的で文化的な行為です。材料の研究だったら、自然の持っている素材の良さを引き出してやる、という感覚が大事なのではないかと思えます。

大泉ひろこ衆議院議員がNIMSをご視察

平成22年1月13日、つくば市を選挙基盤とする大泉ひろこ衆議院議員がNIMSを来訪されました。潮田理事長のNIMSの概要説明に続き、最近の研究成果の中から、サイアロン蛍光体の白色LEDの応用で製品化された電球などを手を取りながら、実用化の説明を受けられたほか、研究の現場では、超耐熱材料であるジェットエンジンのタービブレード用ニッケル合金の実用化(ロールス・ロイス航空宇宙材料センター)、国際ナノテクノロジーネットワーク拠点、生体材料センター、国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA)を視察されました。外国人研究者が多く在籍するMANAの実験室では、ヒンズー語、中国語、韓国語でそれぞれの研究者に挨拶をされ、大泉議員がアメリカのミシガン大学とオーストラリア国立大学で修士を取得した国際人であることを大いにアピールされました。



国際ナノテクノロジーネットワーク拠点を視察する大泉議員(中央)

第1回 ナノ材料科学環境拠点シンポジウムを開催

平成22年2月9日、第1回 ナノ材料科学環境拠点シンポジウム(The 1st symposium of ICNSEE*)をNIMSにおいて開催しました。

産学独が連携して国内外の一流研究者を集結し、環境エネルギー技術の基礎基盤的な研究開発を推進することを目的に、昨年10月に活動を開始したナノ材料科学環境拠点の第1回のシンポジウムには、スイス連邦素子研究所(EMPA)の前CEOで、本拠点の副拠点長に就任予定のLouis Schlapbach(ルイ・シュラパッハ)教授の基調講演をはじめ、本拠点のターゲットである太陽電池、光触媒、二次電池、燃料電池の4テーマおよび理論・計算科学と先端解析を合わせた6つのテーマについて11の講演が行われました。



Louis Schlapbach教授による基調講演

* Innovative Center of Nanomaterials Science for Environment and Energy

光触媒および環境浄化材料に関する国際ワークショップ2010および第3回 日-中光触媒材料シンポジウムの統合開催

平成22年2月21~24日、NIMSは光触媒および環境浄化材料に関する国際ワークショップ2010および第3回日-中光触媒材料シンポジウムを統合して開催しました。

近年の深刻な地球環境汚染やエネルギー問題に取り組む技術のひとつとして注目されている光触媒は、半導体への光照射によって生じる酸化・還元ポテンシャルを利用するもので、半導体表面に付着した物質との化学反応で有機有害物質の分解、脱臭、殺菌、さらには水を分解して水素を取り出すことも、二酸化炭素を還元してメタンなどの化学資源に変換することもできます。無尽蔵ともいえる太陽光、または室内灯で高効率な光触媒効果を示す材料の開発・実用化は環境汚染やエネルギー問題を解決する糸口となる技術です。



ワークショップ、シンポジウムの参加者(NIMS中庭にて)

今回は3日間にわたり、ナノ構造を持つ光触媒材料、光触媒によるエネルギーの貯蔵と変換、評価と応用、酸化物質光触媒の電子構造、光電気化学、色素増感などのトピックスについて24件の口頭発表と42件のポスター発表が行われました。中国や米・豪から来日した30名近くの研究者を始め、NIMS滞在中の外国人研究者、東工大・筑波大学などの教員や大学院生なども加え、数多くの参加者による熱心な議論が行われた会議は、ナノ材料科学拠点の副拠点長 シュラパッハ教授の閉会挨拶で、次回を約束して幕を閉じました。

カナダ ウォータールーナノテクノロジー研究所と 包括的協力協定を調印

平成22年2月19日、NIMSとカナダのウォータールー大学(UW)ウォータールーナノテクノロジー研究所(WIN)の包括的協力協定の調印式がJonathan T. Fried 駐日カナダ大使出席のもとカナダ大使公邸で行われ、潮田資勝NIMS理事長とArthur Carty WIN 所長の間でサインが交わされました。この協定により、UWのナノに関わるセンターとラボラトリを含んだ連携が期待されます。



潮田資勝NIMS理事長とArthur Carty WIN所長

この調印に先立つ2月15日～16日、NIMSとWINの研究者のマッチングを図ることを目的に、ナノ材料科学環境拠点と生体材料センターが中心になってワークショップを開催しました。UW/WINの代表団7名がNIMSを訪れ、エネルギー、環境およびバイオテクノロジーのためのナノ材料をテーマとしたこのワークショップに参加しました。

つくばナノテクイノベーション拠点特別シンポジウムを開催

平成22年2月17日、東京ビックサイトにおいて、つくばナノテクイノベーション拠点(Tsukuba Inovation Arena:nano:略称TIA)による特別シンポジウムが開催されました。

TIAは世界最高水準の先端ナノテク研究設備・人材が集まるつくばに、産業技術総合研究所、NIMS、筑波大学を中核として形成する世界的なナノテク研究拠点です。新たな中核施設の整備と連携により、企業が要望する異分野技術を融合し、日本のナノテクノロジー研究の成果をイノベーションに繋げることを目指しています。



左から物質・材料研究機構 理事長 潮田 資勝、産業技術総合研究所 理事長 野間口 有、物質・材料研究機構 顧問 岸 輝雄、筑波大学 学長 山田 信博、日本経済団体連合会産業技術委員会 共同委員長 中鉢 良治(敬称略)

シンポジウムでは、産総研の野間口有理事長、ニューヨーク州立大学アルバニー校の平山誠教授、芝浦工業大学の柘植綾夫学長の基調講演に続き、岸輝雄NIMS顧問を司会役として「ナノテク研究拠点と人材育成」と題したパネル討議が、東京理科大学の高柳英明理事・教授、筑波大学の村上浩一研究科長、株式会社富士通研究所の吉川誠一常任顧問の参加を得て行なわれました。

科学技術週間 NIMS一般公開のお知らせ 《4月15日(木)・18日(日)》

NIMSの一般公開を4月15日(木)と18日(日)に行います。

15日は東京(目黒)、つくば(千現・並木・桜)の各地区で研究成果や研究設備をご覧いただけるよう、ラボを公開いたします。

18日の日曜日は、つくばの千現地区において、おもに小中学生を対象に楽しく科学に親しむ実験やものづくりなどを行います。

主な見どころ

15日 (木)	目黒地区	・40年を超える高温での耐久(クリープ)試験 ・NIMS物質・材料データベースの紹介とデモ
	千現地区	・ナノと超伝導ダイヤモンドの世界 ・アトムプローブで直視するナノワールド
	並木地区	・ナノテクを病気の診断・治療に活かす ・世界トップレベル研究拠点 MANAの研究
	桜地区	・イオンビームによるナノ材料創製 ・強磁場の世界
18日 (日)	千現地区	・鉄鉄の溶解鋳造実演 ・ちびっ子 科学工作教室:ばねを使ったエコーマイクを作る ・ピュータークラフト

